

## Список использованных источников

1. Подбельский В.В. Язык C#: базовый курс. М.: ГОУ ВПО «Московский государственный университет им. Н.Э. Баумана», 2014. – 406 с.
2. Clark Dan. Beginning C# Object-Oriented Programming. USA: Apress, 2013. – 384 с.
3. Симан М., Барышнев А., Зазноба Е. Внедрение зависимостей в .NET. СПб.: Питер, 2014. – 364 с.
4. Gary McLean Hall. Adaptive Code via C#. USA: Microsoft Press, 2014.

УДК 004.942

**Е. А. Мартусевич, В. Н. Буинцев**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, Россия

## ТРЕНАЖЕР «АЛЮМИНЩИК» ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ЛИТЕЙНОГО ОТДЕЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА

### Аннотация

*Алюминиевый расплав, приготовленный в электролизном цехе, не является товарной продукцией, так как не соответствует химическому составу стандартных сплавов, содержит различные вредные примеси и газовые включения. Для улучшения качества расплава и повышения процентного содержания алюминия в расплаве применяются шихтовые и флюсовые материалы. Все шихтовые и флюсовые материалы отличаются своим влиянием на химический состав выплавляемой марки алюминиевого сплава. Шихтовые материалы всегда ограничены и отличаются высокой стоимостью. В связи с этим возникает потребность в построении математической модели и определения с её помощью оптимального набора исходных и шихтовых материалов с целью минимизации экономических затрат металлургических предприятий.*

*Ключевые слова: металлургическое предприятие, электролизный цех, литейный цех, алюминий-сырец, химический состав, шихтовка, флюс, легирующие металлы, алгоритм, минимизация, себестоимость продукции.*

### Abstract

*Aluminum melt, prepared in electrolysis workshop, is not a marketable product, because does not match to the chemical composition of standard alloys, contains various harmful admixtures and gases inclusions. In order to improve the quality of the melt and increasing the percentage of aluminum in the melt are used a batch and flux materials. All batch and flux materials have a different influence on chemical composition of a smelting mark of an aluminum alloy. These materials always limited and have a high cost. In connection with these facts there is a need to make a mathematical model and determine with her help the optimal set the raw and batch materials with aim of minimize economic costs of metallurgical enterprises.*

*Keywords: steel, electrolysis plant, foundry, aluminium-raw, chemical composition, shihtovka, flux, alloying metals, algorithm, minimization, cost of production.*

На этапе переработки глинозема  $Al_2O_3$  посредством электролиза, в ваннах электролизёров образуется алюминий-сырец. Себестоимость алюминия-сырца составляет примерно  $50 \div 80$  тысяч рублей за тонну или  $50 \div 80$  рублей за килограмм. Под воздействием электрического тока химическая связь между газом кислородом и металлическими включениями алюминия разрывается. В результате более тяжёлый алюминий осаждается на дне ванны электролизёров вместе с другими примесями. С помощью вакуумных ковшей, примерно раз в не-

сколько суток из электролизных ванн извлекают жидкий алюминий. Каждый ковш вмещает в себя около 5 т расплавленного металла. Такие ковши сначала отстаиваются, а затем отправляются в литейное отделение для разливки в миксер. Мощность нагревательных элементов миксера составляет 350 кВт, при стоимости 5,5 руб./кВт·ч [1].

В таком виде жидкий алюминий содержит около 20 % различных по степени вредности примесей, которые влияют на качество конечной готовой продукции. К примесям относятся различные неметаллические включения, включения щелочноземельных металлов, в том числе и тяжелые металлические включения [2].

Как известно, существует различные виды алюминиевых марок и сплавов. Все они имеют свой определенный химический состав и применяются в различных сферах жизнедеятельности человека.

В реальных производственных условиях затруднительно осуществлять подбор состава шихтовых материалов, обеспечивающих получение заданной марки алюминия за одну итерацию. В связи с этим, вопрос тренировки технологического персонала по приобретению навыков оптимальной шихтовки алюминиевых сплавов является актуальным.

Для этой цели был разработан тренажер, позволяющий отрабатывать навыки получения заданной марки алюминия при минимальных экономических затратах. Интерфейс учебного тренажера «Алюминщик», представлен на рис. 1.

Тренажер позволяет моделировать процесс выплавки алюминиевых марок с учётом различных ограничений и помех. Основным критерием обучения является показатель себестоимости тонны алюминиевого сплава, при выполнении соответствующих ограничений и граничных условий. Тренажер позволяет выгружать исходные данные и сведения о заданной марке в Microsoft Excel, с последующим формированием модели для использования оптимизатора «Поиск решения» для минимизации целевой функции, которой в данном случае является себестоимость алюминиевого сплава [3]. Выгруженные данные обрабатываются настроенным шаблоном файла Microsoft Excel.

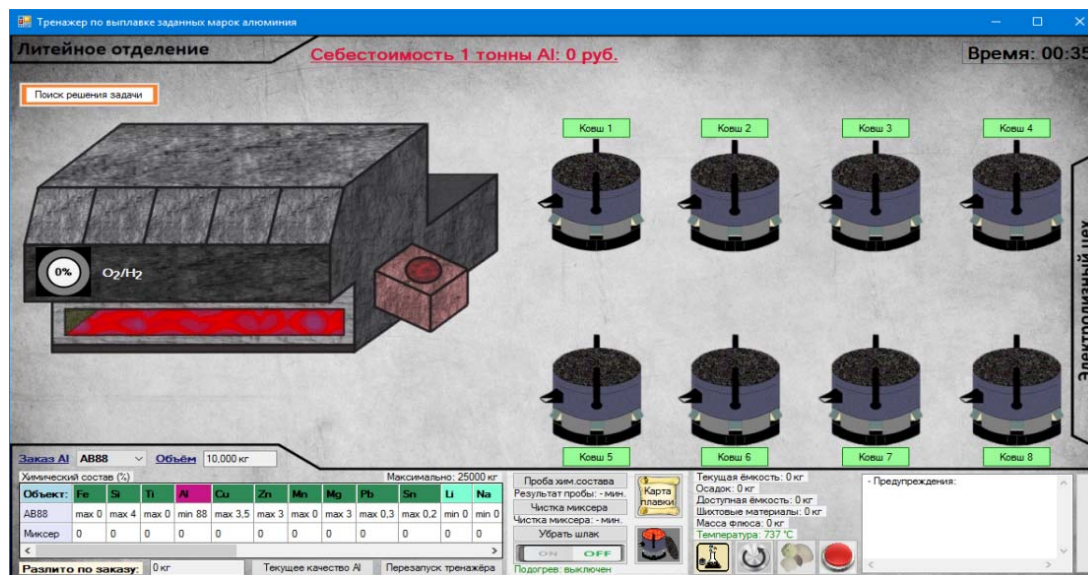


Рис. 1. Интерфейс тренажера «Алюминщик»

На рис. 2 приведена рабочая форма программы оптимизации шихтовки алюминиевого сплава.

Целевой функцией является себестоимость тонны алюминиевого сплава, определяемая расходом шихтовых материалов и затратами электроэнергии при формировании алюминия заданной марки.

$$C = \sum_{i=1}^n m_i C_i + W C_{эл}, \quad (1)$$

где  $C$  – себестоимость сплава, руб./т;  $m_i$  – масса  $i$ -го шихтового материала, т;  $C_i$  – цена  $i$ -го шихтового материала, руб/т;  $W$  – количество затраченной электроэнергии, кВт·ч;  $C_i$  – цена электроэнергии, руб./кВт·ч.



Рис. 2. «Поиск решения задачи» тренажера «Алюминщик»

Определяется минимум целевой функции при следующих ограничениях: соответствие химического состава расплава в миксере химическому составу заданной марки; фактическая масса шихтуемого сплава не должна превышать максимальной ёмкости миксера; расчётные массы используемых шихтовых материалов не должны превышать имеющихся в наличии; допустимая масса остатка алюминия-сырца в ковше не должна превышать заданных значений. К граничным условиям относятся: положительные значения расчётных масс шихтовых материалов; расчётные массы шихтовых материалов должны быть целыми числами.

Химический состав выплавляемой марки алюминия высчитывается поэлементно по формуле 2:

$$X_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ji} \cdot m_i - \sum_{i=1}^n k_{ji} \cdot m_i}{m_{расп}}, \quad (2)$$

где:  $X_j$  – содержание  $j$ -го химического элемента в алюминиевом сплаве, %;  $x_{ji}$  – содержание  $j$ -го химического элемента в  $i$ -том шихтовом материале, %;  $m_i$  – масса  $i$ -го шихтового материала, кг;  $k_{ji}$  – коэффициент удаления  $j$ -го химического элемента  $i$ -м флюсом;  $m_{ф}$  – масса флюса, кг;  $m_{расп}$  – масса расплава в миксере, кг.

Выплавляемая марка алюминия образуется путем слива имеющихся металла из ковшей в миксер в различных пропорциях с минимальным количеством добавляемых лигатур, так как лигатуры обладают повышенной стоимостью, и их количество ограничено. Так, например, лигатура алюминий-бор A1B5 имеют цену 300 руб./кг. Конечное выравнивание химического состава осуществляется путем подбора флюсовых порошковых солей.

Для обучения технологического персонала литейного цеха на тренажере «Алюминщик» предлагается учебная задача – сформировать заданную марку с заданной массой алюминия в миксере. Оценка качества обучения производится по следующим показателям: время технологического процесса и себестоимость тонны полученного продукта. Методом проб и ошибок обучаемый достигает заданных значений, а затем сравнивает собственные результаты с оптимальными, полученными с помощью «Поиска решения» Microsoft Excel. Благодаря такому подходу, осуществляется способ обучения «по образцу». Этот метод ускоряет процесс и сокращает время обучения, позволяя вырабатывать алгоритм оптимального управ-

ления. Например, при заданной марке металла обучаемый осуществил поиск решения за известное время при определенной себестоимости продукции. Оптимальное решение, найденное с помощью оптимизатора «Поиск решения» Microsoft Excel, предлагается обучаемому в качестве эталона, к которому он должен стремиться. Окончательная оценка степени обученности определяется степенью приближения полученных обучаемым данных относительно эталонных значений.

В таблице 1 представлен пример химического состава алюминиевого сплава марки АВ88 согласно стандарта [4]. В таблице 2 приведен пример пользовательского решения данной задачи. Себестоимость тонны готовой алюминиевой продукции при таком решении составила  $(1250000+1750+4000+3750+10000)/25 = 50780$  руб./т. Время, затраченное пользователем на решение данной задачи равно 00:05:01.

Таблица 1

Заданный химический состав марки алюминия АВ88

Марка АВ88	<i>Fe</i>	<i>Si</i>	<i>Ti</i>	<i>Al</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>Mg</i>	<i>Pb</i>	<i>Sn</i>
<i>max/min</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>max</i>
%	0,0	4,0	0,0	88,0	3,5	3,0	0,0	3,0	0,3	0,2

Таблица 2

Пользовательское решение задачи выплавки марки АВ88

Объект	Наличие, кг	Расчётная масса, кг	<i>Fe</i>	<i>Si</i>	<i>Ti</i>	<i>Al</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>Mg</i>	<i>Pb</i>	<i>Sn</i>	Цена, руб./кг
Ковш 1	4659	4659	0,537	0,228	0,115	92,17	2,154	3,237	0,085	1,18	0,182	0,112	50
Ковш 2	3038	3038	0,715	5,57	0,177	87,488	1,205	2,555	0,023	2,167	0,095	0,005	50
Ковш 3	3770	3770	0,27	8,333	0,01	84,897	2,205	1,527	0,023	2,388	0,265	0,082	50
Ковш 4	3912	3912	0,728	8,938	0,19	85,777	0,152	1,309	0,039	2,458	0,256	0,153	50
Ковш 5	4036	4036	0,598	6,093	0,161	87,039	2,053	0,854	0,056	2,803	0,236	0,107	50
Ковш 6	3131	3131	0,493	3,342	0,078	91,039	0,808	2,927	0,09	0,859	0,278	0,086	50
Ковш 7	4701	2454	0,585	0,411	0,118	93,273	1,38	2,599	0,004	1,332	0,175	0,123	50
Ковш 8	4670	0	0,55	6,81	0,049	87,288	1,992	1,687	0,088	1,391	0,017	0,128	50
Флюс 2	1000	200		✓									
Флюс 6	1000	250			✓								
Флюс 9	1000	500	✓				✓	✓	✓		✓	✓	20

Таблица 3

Решение задачи выплавки марки АВ88 в MS Excel

Объект	Наличие, кг	Расчётная масса, кг	<i>Fe</i>	<i>Si</i>	<i>Ti</i>	<i>Al</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>Mg</i>	<i>Pb</i>	<i>Sn</i>	Цена, руб./кг
Ковш 1	4659	4659,00	0,537	0,228	0,115	92,17	2,154	3,237	0,085	1,18	0,182	0,112	50
Ковш 2	3038	3038,00	0,715	5,57	0,177	87,488	1,205	2,555	0,023	2,167	0,095	0,005	50
Ковш 3	3770	100,00	0,27	8,333	0,01	84,897	2,205	1,527	0,023	2,388	0,265	0,082	50
Ковш 4	3912	3014,00	0,728	8,938	0,19	85,777	0,152	1,309	0,039	2,458	0,256	0,153	50
Ковш 5	4036	4036,00	0,598	6,093	0,161	87,039	2,053	0,854	0,056	2,803	0,236	0,107	50
Ковш 6	3131	3131,00	0,493	3,342	0,078	91,039	0,808	2,927	0,09	0,859	0,278	0,086	50
Ковш 7	4701	4701,00	0,585	0,411	0,118	93,273	1,38	2,599	0,004	1,332	0,175	0,123	50
Ковш 8	4670	2321,00	0,55	6,81	0,049	87,288	1,992	1,687	0,088	1,391	0,017	0,128	50
Флюс 6	1000	250,00			✓								15
Флюс 9	1000	500,00	✓				✓	✓	✓		✓	✓	20

Себестоимость тонны готовой алюминиевой продукции, с использованием оптимизатора «Поиск решения» составила  $(1250000+700+3750+10000)/25=50578$  руб./т. Время, затраченное на решение данной задачи равно 00:01:58. Результаты шихтовки заданной марки АВ88 резюмированы в таблице 4.

Таблица 4

Итоговые варианты решения

Тип решения	Время	Себестоимость, руб./т	$F_e$	$Si$	$T_i$	$Al$	$C_u$	$Z_n$	$M_n$	$Mg$	$P_b$	$S_n$
Пользователь	00:05:01	50780	0	0	0	98,081	0	0	0	1,919	0	0
Оптимизатор	00:01:58	50578	0	3,941	0	94,329	0	0	0	1,73	0	0

В случае использования оптимизатора легирующих добавок не потребовалось, а время работы и себестоимость продукции сократились.

Список использованных источников

1. Металлургия алюминия [электронный ресурс]: Получение и переработка алюминия. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://metalspace.ru/education-career/osnovy-metallurgii/metallurgiya-alyuminiya/681-poluchenie-alyuminiya.html> – 15.04.2017 – Загл. с экрана.
2. Железо и другие примеси в алюминии [электронный ресурс]: Путеводитель в металлургии – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://aluminium-guide.ru/zhelezo-i-drugie-primesi-v-alyumini/> – 15.04.2017 – Загл. с экрана.
3. Microsoft Office [электронный ресурс]: Средство редактирования таблиц – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://products.office.com/ru-RU/excel> – 17.04.2017 – Загл. с экрана.
4. Марочник алюминия [электронный ресурс]: химический состав марок – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://aluminium-guide.ru/marki-alyuminiya/> - 16.04.2017 – Загл. с экрана.

УДК 659.2

**Р. Т. Мухтасаров, В. Ю. Носков**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОТОТИПА  
ИНФОРМАЦИОННОГО ТЕРМИНАЛА ОСТАНОВОЧНОГО КОМПЛЕКСА**

**Аннотация**

*В статье описан процесс разработки программного обеспечения прототипа информационного терминала остановочного комплекса.*

*Данный прототип обладает следующим функционалом:*

1. *Предоставляет пользователю нескольких вариантов маршрутов движения (с пересадками) от местонахождения пользователя до любой другой точки города, указанной на карте, с голосовым сопровождением на русском языке и приблизительным временем, которое будет затрачено на весь путь.*
2. *Воспроизводит видеорекламную информацию в период простоя системы.*
3. *Обеспечивает связь с полицией в случае необходимости.*

*Описывается общая схема созданного программного обеспечения прототипа и особенности выполнения работы. Рассказывается об основных программных решениях, ис-*